

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-320282  
(P2001-320282A)

(43) 公開日 平成13年11月16日 (2001.11.16)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ターボコード* (参考)
H 0 3 M 13/29		H 0 3 M 13/29	5 B 0 0 1
G 0 6 F 11/10	3 3 0	C 0 6 F 11/10	3 3 0 S 5 J 0 6 5
H 0 3 M 13/13		H 0 3 M 13/13	
13/23		13/23	
13/41		13/41	

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2000-139493 (P2000-139493)

(22) 出願日 平成12年5月12日 (2000.5.12)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 丸 次夫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 10007/827

弁理士 鈴木 弘男

Fターム(参考) 5B001 AA10 AD06

5J065 AD01 AD10 AE06 AF01 AF03

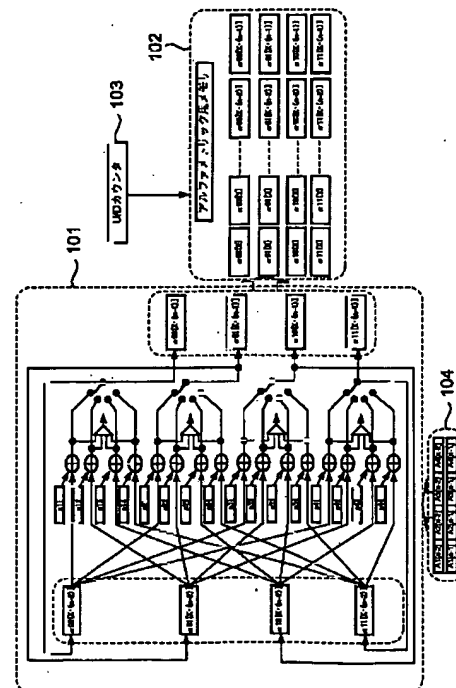
AC06 AH02 AH23

(54) 【発明の名称】 高速ターボデコーダ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 高速性とインタラクティブ性が要求される通信において、強力な誤り訂正手段を回路規模の増加を生じることなく更にタイムラグの少ないターボデコーダを提供する。

【解決手段】 ターボデコーダは、BCJR (Bah l、Cocke、Jelinek、and Ravi v) 或いはACS演算 (Add、Compare、Se lect演算) によって近似したBCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該ガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段を有することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用いたターボデコーダであって、

該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段を有することを特徴とする高速ターボデコーダ。

【請求項2】 前記ステートメトリック更新手段においてスライディングウィンドウ型とし、該ウィンドウ内で前記K段毎のステートメトリックを蓄積することを特徴として構成される請求項1に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項3】 BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用いたターボデコーダであって、

該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化された複数段のガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴とする高速ターボデコーダ。

【請求項4】 前記K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化されたガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果は該ACS演算に用いられたステートメトリックとガンマメトリックの演算結果であって、その演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴として構成される請求項3に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項5】 BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用いたターボデコーダであって、

該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演

算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において蓄積されたステートメトリックの複数段 (K段) 毎の値を第一の入力とし、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを第二の入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴とする高速ターボデコーダ。

【請求項6】 BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用いたターボデコーダであって、

該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段を有することを特徴として構成し、

該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内もう一方の演算は、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化されたガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有して構成し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を尤度演算の為の第一の入力として構成され、

パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、前記蓄積されたK段毎のステートメトリックの値を第一の入力とし、該パイプライン化されたガンマメトリックを第二の入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算の為の第二の入力として構成され、

該尤度演算は、前記尤度演算の為の第一の入力及び第二の入力に対し遅延手段を用いて同期を合わせて尤度演算を行うことを特徴とする高速ターボデコーダ。

【請求項7】 前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手

段であって、  
該複数段の縦続構成からなるACS演算手段の内、初段の演算を加算演算とし、二段目以降を並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を特徴として構成された請求項1または2に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項8】 前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段であって、

該ステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段は、更新前のステートを示す全てのノードから更新後のステートを示す各ノードへの第一の入力し、前記複数段の縦続構成からなるACS演算結果を第二の入力として構成され、ステートを示すノード数分の入力によるACS演算(Add、Compare、Select演算)を特徴として構成された請求項1、2または7に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項9】 前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化された複数段のガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴とする構成であって、前記パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段の内、初段の演算を加算演算とし、二段目以降を並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を特徴として構成された請求項3または4に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項10】 前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化された複数段のガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴とする構成であって、

該ステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段は、更新前のステートを示す全てのノードから更新後

のステートを示す各ノードへの第一の入力し、前記複数段の縦続構成からなるACS演算結果を第二の入力として構成され、ステートを示すノード数分の入力によるACS演算(Add、Compare、Select演算)を特徴として構成された請求項3、4または9に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項11】 該ターボコードの符号化方法は並列接続型を用いたことを特徴とする請求項1ないし10のうちのいずれか1項に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項12】 該ターボコードの符号化方法は直列接続型を用いたことを特徴とする請求項1ないし10のうちのいずれか1項に記載の高速ターボデコーダ。

【請求項13】 ACS演算においてヤコビアンロギリズムによる補正値を加算したことを特徴とする請求項1ないし12のうちのいずれか1項に記載の高速ターボデコーダ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ターボデコーダに関し、特にタイムラグの小さい高速動作で特性劣化の少ないターボデコーダに関する。

【0002】

【従来の技術】ターボコードと呼ばれるシャノン限界に近い復号誤り率を達成する新しい符号化法がBerrouらによって提案されている。その詳しい記載が「1993年5月、プロシーディング・オブ・インタナショナル・コンファレンス・オブ・コミュニケーション、1064～1070頁、Proceeding of International Conference of communication、pp1064～1070」に開示されている。

【0003】このターボコードの復号は復号複雑度が高い符号を複雑度の小さい複数の要素に分解し、それらの間の相互作用により特性を逐次的に向上させる点に特徴がある。その小さい要素に分解した復号器はMAP(Maximum posteriori Likelihood)復号器で構成されており、軟入力軟出力復号となっている。このMAP復号を忠実に実現するBCJR(Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv)アルゴリズムが知られているが、必要とされる計算量が大きく、近似による計算量を軽減する手法としてMax-LogMAPやSOVAといったアルゴリズムが知られている。ここで、Max-LogMAPはBCJRにおける演算過程を対数領域で近似したものであり、SOVAは、Viterbiアルゴリズムをベースに軟入力軟出力を得られるようにしたものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ターボコードの復号は復号複雑度が高い符号を複雑度の小さい複数の要素に分解し、それらの間の相互作用により特性を逐次的に向上

させる点に特徴があるが、そのための繰り返し動作が必要になり、高速動作が困難であるという欠点が存在する。

【0005】この欠点を克服するため、二種類の方法が考えられる。まず図15に示す方法は、N回の繰り返し機能を持つターボデコーダを複数個用いてスイッチにより切り替えながら並列動作させるもので平均処理能力としては並列動作させた分向上が見込める。しかしながら同図に示す様に入力から出力迄のタイムラグが有り、インタラクティブな動作が要求される通信には適さないという欠点がある。更に、同図に示す様に各ターボデコーダは軟判定データの繰り返し動作に必要なメモリを必要とし、全体の処理に対するメモリの比率が高く、その結果回路規模の大きなものとなるといった欠点がある。

【0006】もう一方の方法を図16に示す。この方法は、一回の繰り返し動作を有するターボデコーダを複数個縦続接続してパイプライン動作をさせようというものである。しかしその場合も入力から出力迄のタイムラグが存在し、インタラクティブな動作が要求される通信には適さないといった欠点がある。また同様に各デコーダに軟判定情報の受け渡しの為のメモリを必要とし、回路規模の大きなものとなるといった欠点がある。

【0007】ところで、Viterbi アルゴリズムをベースに軟入力軟出力を得られる様に近似したSOVAを用いれば高速動作は可能であるが、近似の代償として特性劣化を引き起こすといった欠点がある。

【0008】〔発明の目的〕次世代移动通信システムにおいて、要求されるサービスはQos (Quality of Service) によってクラス分けされており、インタラクティブ性の高いVoIP (Voice over IP) やテレコンファレンスといったクラスではタイムラグが非常に重要になってくる。

【0009】本発明の高速ターボデコーダは、このような高速性とインタラクティブ性が要求される通信に用いられる強力な誤り訂正手段を提供するというものであり、並列化で生じた軟判定情報のやりとりの為のメモリの増大といった回路規模の増加を生じることなく、強力な誤り訂正能力を有する高速ターボデコーダを実現するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の高速ターボデコーダは、BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用い、該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS

演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K 段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段を有することを特徴とする。

【0011】また、本発明の高速ターボデコーダは、前記ステートメトリック更新手段においてスライディングウィンドウ型とし、該ウィンドウ内で前記K段毎のステートメトリックを蓄積することを特徴として構成される。

【0012】更に本発明の高速ターボデコーダは、BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用い、該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段 (K 段) 毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化された複数段のガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴とする。

【0013】また本発明の高速ターボデコーダは、前記K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化されたガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果は該ACS演算に用いられたステートメトリックとガンマメトリックの演算結果であって、その演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴として構成される。

【0014】更に本発明の高速ターボデコーダは、BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add, Compare, Select 演算) によって近似したBCJRアルゴリズムを用い、該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において蓄積されたステートメトリックの複数段 (K 段) 毎の値を第一の入力とし、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを第二の入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元に尤度演算を行うことを特徴とする。

【0015】更に本発明の高速ターボデコーダは、BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek, and Raviv) アルゴリズム或いはACS演算 (Add

d、Compare、Select演算)によって近似したBCJRアルゴリズムを用い、該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内少なくとも一方の演算において、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段を有することを特徴として構成し、該BCJRアルゴリズムにおけるアルファメトリック演算及びベータメトリック演算の内もう一方の演算は、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化されたガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有して構成し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を尤度演算の為の第一の入力として構成され、パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、前記蓄積されたK段毎のステートメトリックの値を第一の入力とし、該パイプライン化されたガンマメトリックを第二の入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元尤度演算の為の第二の入力として構成され、該尤度演算は、前記尤度演算の為の第一の入力及び第二の入力に対し遅延手段を用いて同期を合わせて尤度演算を行うことを特徴とする。

【0016】更に本発明の高速ターボデコーダは、前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段であって、該複数段の縦続構成からなるACS演算手段の内、初段の演算を加算演算とし、二段目以降を並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を特徴として構成される。

【0017】更に本発明の高速ターボデコーダは、前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリックを蓄積する手段であって、該ステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段は、

更新前のステートを示す全てのノードから更新後のステートを示す各ノードへの第一の入力し、前記複数段の縦続構成からなるACS演算結果を第二の入力として構成され、ステートを示すノード数分の入力によるACS演算(Add、Compare、Select演算)を特徴として構成される。

【0018】更に本発明の高速ターボデコーダは、前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化された複数段のガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元尤度演算を行うことを特徴とする構成であって、前記パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段の内、初段の演算を加算演算とし、二段目以降を並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を特徴として構成される。

【0019】更に本発明の高速ターボデコーダは、前記パイプライン化された複数段のガンマメトリックを供給する手段を有し、該パイプライン化されたガンマメトリックを入力として複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該演算結果を入力としてステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段を有し、該K段毎のステートメトリック更新結果とパイプライン化された複数段のガンマメトリックを入力とした複数段の縦続構成からなるACS演算手段を有し、該縦続構成からなるACS演算手段の各段の演算結果を元尤度演算を行うことを特徴とする構成であって、該ステートメトリックを複数段(K段)毎に更新する手段は、更新前のステートを示す全てのノードから更新後のステートを示す各ノードへの第一の入力し、前記複数段の縦続構成からなるACS演算結果を第二の入力として構成され、ステートを示すノード数分の入力によるACS演算(Add、Compare、Select演算)を特徴として構成される。

【0020】更に本発明の高速ターボデコーダはその符号化方法を並列接続型としたことを特徴とする。

【0021】更に本発明の高速ターボデコーダはその符号化方法を直列接続型としたことを特徴とする。

【0022】更に本発明の高速ターボデコーダは、ACS演算においてヤコビアンロガリズムによる補正値を加算したことを特徴とする。

【0023】[作用] 本発明は、インタラクティブ性の高いサービスを要求するQoSに適する形で、高速でタイムラグの短い強力な誤り訂正能力を持つターボデコーダを提供するものである。

【0024】更に、軟判定データの繰り返し使用に必要なメモリが小さく、従って回路規模の小さい高速ターボデコーダを提供するものである。

【0025】更に本発明は、Viterbiアルゴリズムをベースに軟入力軟出力を得られる様に近似したSOVAを用いることなく高速動作が可能なので、近似の代償として特性劣化を引き起こすといった欠点の少ない高速ターボデコーダを提供できるのである。

【0026】更に、各ACS演算にヤコビアンロガリズムを適用すれば、MAPを用いたBDJRアルゴリズムと等価な演算になるので特性劣化を引き起こすことなく高速でタイムラグの短い強力な誤り訂正能力を持つターボデコーダを提供できる。

【0027】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態について式と図面を参照しながら説明する。

【0028】図1はACS演算によって近似したBCJRアルゴリズムを用いた例で、高速ターボデコーダの内アルファメトリック演算を行った実施例である。本実施例を説明するに当たり、半環(semiring)の概念をまず説明する。何故ならばACS演算による更新過程が2種類の演算で定義された抽象代数系である半環(semiring)で表すことが出来ることが知られているのである。例えば、この様な記載が「1996年7月、アイ・イー・イー・イー・トランザクション・オン・インフォメーション・セオリー、第42巻、第4号、

$$a \oplus m = m \oplus a = a \in (\forall a \in \text{semiRing})$$

$$a \otimes 1 = 1 \otimes a = a (\forall a \in \text{semiRing})$$

(ゼロ元)

$$a \otimes m = m \otimes a = m (\forall a \in \text{semiRing})$$

(分配則)

$$a \otimes (b \oplus c) = a \otimes b \oplus a \otimes c$$

$$(b \oplus c) \otimes a = b \otimes a \oplus c \otimes a$$

以上の性質を持つ半環(semiring)を次のようにしてACS演算に当てはめる。

$$a \oplus b = \max\{a, b\}$$

$$a \otimes b = a + b$$

1072~1092頁(IEEE Transactions on information theory, Vol.42, No.4, pp.1072-1092)」に開示されている。

【0029】半環(semiring)は2種類の演算

$$(\text{semiRing}, \oplus, \otimes)$$

が定義された集合semiRingで構成され、任意の3つの元

$$(a, b, c \in \text{semiRing})$$

の間で以下の関係を満たす。

注) 半環(semiring)は環(ring)と異なり逆元を有しない。

【0030】(閉包則)

$$a \oplus b \in \text{semiRing}$$

$$a \otimes b \in \text{semiRing}$$

(結合則)

$$(a \oplus b) \oplus c = a \oplus (b \oplus c)$$

$$(a \otimes b) \otimes c = a \otimes (b \otimes c)$$

(単位元)

【0031】即ち加法を大きい方を選択する演算に置き換え、乗法を通常の加算に置き換える。これによって上述のmlは

$$-\infty$$

に相当し、

$$1$$

は通常のゼロに相当することになる。この置き換えによってACS演算が半環(semiring)であることが容易に理解出来る。

【0032】次に、この半環の演算子を用いてステートメトリックの更新過程を表現してみると以下のようなになる。

$$S00[n+1] = \{\Gamma_n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma_n(1,1) \otimes S10[n]\}$$

$$S01[n+1] = \{\Gamma_n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma_n(0,0) \otimes S10[n]\}$$

$$S10[n+1] = \{\Gamma_n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma_n(0,1) \otimes S11[n]\}$$

$$S11[n+1] = \{\Gamma_n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma_n(1,0) \otimes S11[n]\}$$

【0033】ここでSは状態メトリックを表しサフィックスは状態で [ ] 内は遷移の順番を、またΓはガ  
ンメトリックを表しサフィックスは遷移の順番と各遷  
移における取りうる値を示す。上記をマトリクス表記で  
表す。

$$\vec{S}[n+1] = \begin{bmatrix} S00[n+1] \\ S01[n+1] \\ S10[n+1] \\ S11[n+1] \end{bmatrix}$$

$$\vec{\Gamma}_n = \begin{bmatrix} \Gamma_n(0,0) & m & \Gamma_n(1,1) & m \\ \Gamma_n(1,1) & m & \Gamma_n(0,0) & m \\ m & \Gamma_n(1,0) & m & \Gamma_n(0,1) \\ m & \Gamma_n(0,1) & m & \Gamma_n(1,0) \end{bmatrix}$$

$$\vec{S}[n+1] = \vec{\Gamma}_n \otimes \vec{S}[n]$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma_n(0,0) & m & \Gamma_n(1,1) & m \\ \Gamma_n(1,1) & m & \Gamma_n(0,0) & m \\ m & \Gamma_n(1,0) & m & \Gamma_n(0,1) \\ m & \Gamma_n(0,1) & m & \Gamma_n(1,0) \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} S00[n+1] \\ S01[n+1] \\ S10[n+1] \\ S11[n+1] \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma_n(0,0) \otimes S00[n]\} & \oplus m & \oplus \{\Gamma_n(1,1) \otimes S10[n]\} & \oplus m \\ \{\Gamma_n(1,1) \otimes S00[n]\} & \oplus m & \oplus \{\Gamma_n(0,0) \otimes S10[n]\} & \oplus m \\ \oplus m & \{\Gamma_n(1,0) \otimes S01[n]\} & \oplus m & \oplus \{\Gamma_n(0,1) \otimes S11[n]\} \\ \oplus m & \{\Gamma_n(0,1) \otimes S01[n]\} & \oplus m & \oplus \{\Gamma_n(1,0) \otimes S11[n]\} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma_n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma_n(1,1) \otimes S10[n]\} \\ \{\Gamma_n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma_n(0,0) \otimes S10[n]\} \\ \{\Gamma_n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma_n(0,1) \otimes S11[n]\} \\ \{\Gamma_n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma_n(1,0) \otimes S11[n]\} \end{bmatrix}$$

となる。さらにACS演算による更新過程を進めると、

$$\bar{S}[n+2] = \overline{\Gamma n+1} \otimes \{\Gamma n \otimes \bar{S}[n]\}$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma n+1(0,0) & m & \Gamma n(1,1) & m \\ \Gamma n+1(1,1) & m & \Gamma n(0,0) & m \\ m & \Gamma n+1(1,0) & m & \Gamma n+1(0,1) \\ m & \Gamma n+1(0,1) & m & \Gamma n+1(1,0) \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \{\Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\} \\ \{\Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\} \\ \{\Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,1) \otimes S11[n]\} \\ \{\Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma n+1(0,0) \otimes [\{\Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\}]\} & \oplus m \\ \{\Gamma n+1(1,1) \otimes [\{\Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\}]\} & \oplus m \\ m & \oplus \{\Gamma n+1(1,0) \otimes [\{\Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\}]\} \\ m & \oplus \{\Gamma n+1(0,1) \otimes [\{\Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\}]\} \\ \oplus \{\Gamma n+1(1,1) \otimes [\{\Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,1) \otimes S11[n]\}]\} & \oplus m \\ \oplus \{\Gamma n+1(0,0) \otimes [\{\Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,1) \otimes S11[n]\}]\} & \oplus m \\ \oplus m & \oplus \{\Gamma n+1(0,1) \otimes [\{\Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\}]\} \\ \oplus m & \oplus \{\Gamma n+1(1,0) \otimes [\{\Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\}]\} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma n+1(0,0) \otimes [\{\Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\}]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,1) \otimes [\{\Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,1) \otimes S11[n]\}]\} \\ \{\Gamma n+1(1,1) \otimes [\{\Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\}]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,0) \otimes [\{\Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,1) \otimes S11[n]\}]\} \\ \{\Gamma n+1(1,0) \otimes [\{\Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\}]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,1) \otimes [\{\Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\}]\} \\ \{\Gamma n+1(0,1) \otimes [\{\Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\}]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,0) \otimes [\{\Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\}]\} \end{bmatrix}$$

となる。

【0034】一方、

$$\overline{\Gamma n+1} \otimes \bar{\Gamma n}$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma n+1(0,0) & m & \Gamma n+1(1,1) & m \\ \Gamma n+1(1,1) & m & \Gamma n+1(0,0) & m \\ m & \Gamma n+1(1,0) & m & \Gamma n+1(0,1) \\ m & \Gamma n+1(0,1) & m & \Gamma n+1(1,0) \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \Gamma n(0,0) & m & \Gamma n(1,1) & m \\ \Gamma n(1,1) & m & \Gamma n(0,0) & m \\ m & \Gamma n(1,0) & m & \Gamma n(0,1) \\ m & \Gamma n(0,1) & m & \Gamma n(1,0) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(0,0)\} & \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(1,0)\} & \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(1,1)\} & \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(0,0)\} \\ \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(0,0)\} & \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(1,0)\} & \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(1,1)\} & \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(0,0)\} \\ \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(1,1)\} & \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(0,1)\} & \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(0,0)\} & \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(1,0)\} \\ \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(1,1)\} & \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(0,1)\} & \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(0,0)\} & \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(1,0)\} \end{bmatrix}$$

であり、従って

$$\bar{S}[n+2] = (\Gamma n+1 \otimes \bar{\Gamma n}) \otimes \bar{S}[n]$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(0,0) \otimes S11[n]\} \\ \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(0,0) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(1,0) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,1) \otimes \Gamma n(1,1) \otimes S10[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,0) \otimes \Gamma n(0,0) \otimes S11[n]\} \\ \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\} \\ \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(1,1) \otimes S00[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(0,1) \otimes S01[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(0,1) \otimes \Gamma n(0,0) \otimes S10[n]\} \oplus \{\Gamma n+1(1,0) \otimes \Gamma n(1,0) \otimes S11[n]\} \end{bmatrix}$$

であるから結局、

$$\therefore \bar{S}[n+2] = \Gamma n+1 \otimes \{\Gamma n \otimes \bar{S}[n]\} = (\Gamma n+1 \otimes \bar{\Gamma n}) \otimes \bar{S}[n]$$

を得ることが出来る。

【0035】同様に、



$$\Gamma_n + 2 \otimes (\Gamma_n + 1 \otimes \Gamma_n)$$

$$\begin{bmatrix} \Gamma_n + 2(0,0) & m & \Gamma_n + 2(1,1) & m \\ \Gamma_n + 2(1,1) & m & \Gamma_n + 2(0,0) & m \\ m & \Gamma_n + 2(1,0) & m & \Gamma_n + 2(0,1) \\ m & \Gamma_n + 2(0,1) & m & \Gamma_n + 2(1,0) \end{bmatrix}$$

$$\otimes \begin{bmatrix} \{\Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(0,0)\} \\ \{\Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,1)\} \\ \{\Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(0,1)\} & \{\Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \\ \{\Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(0,1)\} & \{\Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} \\ \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} & \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(0,1)\} \\ \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \\ \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(0,1)\} & \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \\ \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 2(1,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(0,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \\ \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \\ \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(1,1) \otimes \Gamma_n(1,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(0,1) \otimes \Gamma_n(0,0)\} & \{\Gamma_n + 2(0,1) \otimes \Gamma_n + 1(0,0) \otimes \Gamma_n(0,1)\} \otimes \{\Gamma_n + 2(1,0) \otimes \Gamma_n + 1(1,0) \otimes \Gamma_n(1,0)\} \end{bmatrix}$$

を続けければ、

$$\therefore \overline{S[n+3]} = \overline{\Gamma_n + 2} \otimes (\overline{\Gamma_n + 1} \otimes (\overline{\Gamma_n} \otimes \overline{S[n]})) = (\overline{\Gamma_n + 2} \otimes (\overline{\Gamma_n + 1} \otimes \overline{\Gamma_n})) \otimes \overline{S[n]}$$

として表すことが出来る。以降この関係は任意の数に対して成り立つ。即ち、上式の意味する処は、ステートメトリックからガンマメトリックにより順次更新して得たステートメトリックも、始めにガンマメトリックによる演算

$$(\overline{\Gamma_n + K - 1} \otimes \cdots \otimes (\overline{\Gamma_n + 2} \otimes (\overline{\Gamma_n + 1} \otimes \overline{\Gamma_n})))$$

を行い、その結果に対してステートメトリックの更新演算を行っても得られる結果は同じということである。

【0036】ところで、ACS演算のスピードのボトルネックはそのフィードバック処理にあり、その他のフィードフォワード処理に対してはパイプライン構成により

処理速度を上げることが可能である。上式のガンマメトリックによる演算

$$(\overline{\Gamma_n + K - 1} \otimes \cdots \otimes (\overline{\Gamma_n + 2} \otimes (\overline{\Gamma_n + 1} \otimes \overline{\Gamma_n})))$$

はフィードフォワード処理である為、高速に演算することが出来、それによって得られた結果をステートメトリックの更新に用いれば一回の遷移でK番目のステートメトリックを得ることが出来るのである。本実施例の場合K=3としているが、任意の値をKとしても本発明は適用可能である。以下K=3の場合について本実施例を説明する。上述のフィードフォワード処理で得られた演算結果を次のように表す。

$$(\overline{\Gamma^K \bullet (n-2) + 3} \otimes (\overline{\Gamma^K \bullet (n-2) + 1} \otimes \overline{\Gamma^K \bullet (n-2)}))$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

【0037】アルファメトリックの更新過程は次の様になる。

$$\overline{\alpha[K \bullet (n-2)]} = \begin{bmatrix} \alpha_{00}[K \bullet (n-2)] \\ \alpha_{01}[K \bullet (n-2)] \\ \alpha_{10}[K \bullet (n-2)] \\ \alpha_{11}[K \bullet (n-2)] \end{bmatrix}$$

と置くと、

$$\alpha[K \cdot (n-1)] = \begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \alpha 00[K \cdot (n-2)] \\ \alpha 01[K \cdot (n-2)] \\ \alpha 10[K \cdot (n-2)] \\ \alpha 11[K \cdot (n-2)] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{a11 \otimes \alpha 00[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a12 \otimes \alpha 01[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a13 \otimes \alpha 10[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a14 \otimes \alpha 11[K \cdot (n-2)]\} \\ \{a21 \otimes \alpha 00[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a22 \otimes \alpha 01[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a23 \otimes \alpha 10[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a24 \otimes \alpha 11[K \cdot (n-2)]\} \\ \{a31 \otimes \alpha 00[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a32 \otimes \alpha 01[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a33 \otimes \alpha 10[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a34 \otimes \alpha 11[K \cdot (n-2)]\} \\ \{a41 \otimes \alpha 00[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a42 \otimes \alpha 01[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a43 \otimes \alpha 10[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a44 \otimes \alpha 11[K \cdot (n-2)]\} \end{bmatrix}$$

【0038】図1のアルファメトリック更新回路101が上式の演算の相当する。尚、図中の

(+)

は通常の加算を表しており上述の半環における比較選択とは異なるものである。図1に示すように、アルファメトリックはK=3段毎に更新されていくことになり、その演算結果はアルファメトリック用メモリ102に蓄積される。この時の蓄積されるメモリアドレスはアドレス制御用のアップダウンカウンタ103で指定される。

【0039】尚、この実施例では、1フレームに相当するアルファメトリックを蓄積しているが、スライディングウィンドウ型としてウィンド内でK段毎のアルファメトリックを蓄積する様に本発明を適用出来るのはいうまでもない。

【0040】即ちこれによって、アルファメトリック用メモリ容量を1/Kに削減出来、更新速度をK倍に向上することができるのである。

【0041】次にアルファメトリック更新回路101の動作を説明する。更新前のアルファメトリック $\alpha 00$

$$\alpha 00[K \cdot (n-1)] = \{a11 \otimes \alpha 00[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a12 \otimes \alpha 01[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a13 \otimes \alpha 10[K \cdot (n-2)]\} \oplus \{a14 \otimes \alpha 11[K \cdot (n-2)]\}$$

に相当することになる。図と式の対応関係は、図中の加算機

(+)

を式の

( $\otimes$ )

に、また四入力の比較選択回路を式の中の四項を演算する

(+)

となる。

【0043】他の項 $\alpha 01[K \cdot (n-1)]$ 、 $\alpha 10[K \cdot (n-1)]$ 、及び $\alpha 11[K \cdot (n-1)]$ についても同様である。

【0044】また図中のガンマメトリック演算結果104は $a11 \sim a14, a21 \sim a24, a31 \sim a34, a41 \sim a44$ をベクトル

$[K \cdot (n-2)]$ 、 $\alpha 01[K \cdot (n-2)]$ 、 $\alpha 10[K \cdot (n-2)]$ 、及び $\alpha 11[K \cdot (n-2)]$ 、はレジスタ構成となっており、更新後のアルファメトリック $\alpha 00[K \cdot (n-1)]$ 、 $\alpha 01[K \cdot (n-1)]$ 、 $\alpha 10[K \cdot (n-1)]$ 、及び $\alpha 11[K \cdot (n-1)]$ 、へは全てのアルファメトリックを示すノードからACS演算処理を介して接続されており、新たに生じたアルファメトリックをまた更新前のアルファメトリックとして用いるためフィードバック接続がなわれている。各ACS演算処理は、この実施例の場合4ステート型の符号化を用いているので4入力構成となっており、その入力は更新前の全てのアルファメトリック $\alpha 00[K \cdot (n-2)]$ 、 $\alpha 01[K \cdot (n-2)]$ 、 $\alpha 10[K \cdot (n-2)]$ 、及び $\alpha 11[K \cdot (n-2)]$ とこの後説明するガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算結果 $a11 \sim a14, a21 \sim a24, a31 \sim a34, a41 \sim a44$ の加算結果である。

【0042】図中最上部のACS演算を例として説明すると、上式における

表記したもので、以下の関係になっている。

$$\begin{aligned} A1[n-2] &= [a11 \ a12 \ a13 \ a14] \\ A2[n-2] &= [a21 \ a22 \ a23 \ a24] \\ A3[n-2] &= [a31 \ a32 \ a33 \ a34] \\ A4[n-2] &= [a41 \ a42 \ a43 \ a44] \end{aligned}$$

また次のアルファメトリックの更新のため $A1[n-1]$ 、 $A2[n-1]$ 、 $A3[n-1]$ 、及び $A4[n-1]$ が待機して淀みなく供給される様になっている。

【0045】次にガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算結果 $a11 \sim a14, a21 \sim a24, a31 \sim a34, a41 \sim a44$ を得る手段について図2を参照しながら説明する。

【0046】図中初段201はガンマメトリックの加算演算を示し、その詳細な構成を図3に示す。即ちこれは、

$$\overline{\Gamma K \bullet (n-2)+1} \otimes \overline{\Gamma K \bullet (n-2)}$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) & m & \Gamma K \bullet (n-2)+1(1,1) & m \\ \Gamma K \bullet (n-2)+1(1,1) & m & \Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) & m \\ m & \Gamma K \bullet (n-2)+1(1,0) & m & \Gamma K \bullet (n-2)+1(0,1) \\ m & \Gamma K \bullet (n-2)+1(0,1) & m & \Gamma K \bullet (n-2)+1(1,0) \end{bmatrix}$$

$$\otimes \begin{bmatrix} \Gamma K \bullet (n-2)(0,0) & m & \Gamma K \bullet (n-2)(1,1) & m \\ \Gamma K \bullet (n-2)(1,1) & m & \Gamma K \bullet (n-2)(0,0) & m \\ m & \Gamma K \bullet (n-2)(1,0) & m & \Gamma K \bullet (n-2)(0,1) \\ m & \Gamma K \bullet (n-2)(0,1) & m & \Gamma K \bullet (n-2)(1,0) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,0)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,0)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,1)\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,0)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(1,0)\} \end{bmatrix}$$

を行っており、これを

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

とおくと、図3の最上部を例として示すと、

$$a_{11} = \{\Gamma K \bullet (n-2)+1(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n-2)(0,0)\}$$

に相当することになる。図と式の対応関係は、図中の加算機



を式の



となる。

【0047】また図中のベクトル表記との関係は、以下の様になっている。

$$A1 = [a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14}]$$

$$A2 = [a_{21} \ a_{22} \ a_{23} \ a_{24}]$$

$$A3 = [a_{31} \ a_{32} \ a_{33} \ a_{34}]$$

$$A4 = [a_{41} \ a_{42} \ a_{43} \ a_{44}]$$

【0048】他のA2, A3, 及びA4についても上述の関係と同様である。この様にしてえられた結果は、図2に示す二段目以降の並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段202へと入力する。この実施例では並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を一段としているが、それはK=3の場合であるためでそれ以上の値のKを用いた場合この部分は複数段の構成となる。並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段の詳細な構成を図4に示す。

【0049】図4の動作は、

$$\bar{\Gamma} \otimes \begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma(0,0) & m & \Gamma(1,1) & m \\ \Gamma(1,1) & m & \Gamma(0,0) & m \\ m & \Gamma(1,0) & m & \Gamma(0,1) \\ m & \Gamma(0,1) & m & \Gamma(1,0) \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma(0,0) \otimes a11\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a31\} & \{\Gamma(0,0) \otimes a12\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a32\} \\ \{\Gamma(1,1) \otimes a11\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a31\} & \{\Gamma(1,1) \otimes a12\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a32\} \\ \{\Gamma(1,0) \otimes a21\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a41\} & \{\Gamma(1,0) \otimes a22\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a42\} \\ \{\Gamma(0,1) \otimes a21\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a41\} & \{\Gamma(0,1) \otimes a22\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a42\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma(0,0) \otimes a13\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a33\} & \{\Gamma(0,0) \otimes a14\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a34\} \\ \{\Gamma(1,1) \otimes a13\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a33\} & \{\Gamma(1,1) \otimes a14\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a34\} \\ \{\Gamma(1,0) \otimes a23\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a43\} & \{\Gamma(1,0) \otimes a24\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a44\} \\ \{\Gamma(0,1) \otimes a23\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a43\} & \{\Gamma(0,1) \otimes a24\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a44\} \end{bmatrix}$$

に相当し、これを

$$\begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix}$$

と置くと、例えば図4の最上部の演算を例として示すと、

$$a11 = \{\Gamma(0,0) \otimes a11\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a31\}$$

に相当することになる。図と式の対応関係は、図中の加算機

$$\oplus$$

を式の

$$\otimes$$

$$\{\overline{\Gamma K \bullet (n-2) + 3} \otimes \overline{\Gamma K \bullet (n-2) + 1} \otimes \overline{\Gamma K \bullet (n-2)}\}$$

$$\begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix}$$

に相当する演算を行っているのである。

【0052】尚、この例ではK=3の場合を示したが、並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段202を縦続構成で増やすことにより容易に段数を

となる。また二入力の比較選択回路を式の中の二項を演算する

$$\oplus$$

となる。

【0050】また図2のベクトル表記との関係は、以下の様になっている。

$$A1(n-1) = [a11 \ a12 \ a13 \ a14]$$

$$A2(n-1) = [a21 \ a22 \ a23 \ a24]$$

$$A3(n-1) = [a31 \ a32 \ a33 \ a34]$$

$$A4(n-1) = [a41 \ a42 \ a43 \ a44]$$

【0051】他のA2(n-1), A3(n-1), 及びA4(n-1)についても上述の関係と同様である。この様にしてえられた結果が、図2の出力となる。即ち、図2の全体を通して、

増やせることはいうまでもない。

【0053】この様な構成へのガンマメトリックの供給方法を図2の203に示す。同図に示す様にガンマメトリックの供給は各段毎にバイブライズ化されており、初

段については上述の説明の様に加算演算のみですむ為並列に供給され、後段については段が進む毎に1ステップ遅らせて供給するようになっており、これによって、処理が淀みなく進むことが出来るようになっている。

【0054】以上説明したように、図1によるK段毎のアルファメトリック更新と蓄積動作、及び図2に示した

ように、そのK段毎のアルファメトリック更新動作を実現す為のACS縦続構成からなるガンマメトリック演算手段により動作速度をK倍に、且つアルファメトリック用メモリ容量を1/Kに削減出来るのである。

【0055】以上の関係をマトリクスで表すと以下の様になる。

$$\begin{aligned} \alpha[K \bullet (n-1)] &= \Gamma K \bullet (n-2) + 2 \otimes \{ \Gamma K \bullet (n-2) + i \otimes [ \Gamma K \bullet (n-2) \otimes \alpha[K \bullet (n-2)] ] \} \\ &= \{ \Gamma K \bullet (n-2) + 2 \otimes \{ \Gamma K \bullet (n-2) + i \otimes \Gamma K \bullet (n-2) \} \} \otimes \alpha[K \bullet (n-2)] \\ &= \begin{bmatrix} A1(n-1) \\ A2(n-1) \\ A3(n-1) \\ A4(n-1) \end{bmatrix} \otimes \alpha[K \bullet (n-2)] \end{aligned}$$

以上はアルファメトリックについて記したがこれをベータメトリックに置き換えて、即ちベータメトリックとアルファメトリックを置き換えても本発明が適用出来ることはいうまでもない。

【0056】次にベータメトリックの更新過程について図5を参照しながら説明をする。

【0057】アルファメトリックが前方演算処理に対してベータメトリックは後方演算処理になる。従って、トレリス線図に対応するマトリクスが以下の様になる。

$$\overline{\Gamma}_n = \begin{bmatrix} \Gamma_n(0,0) & \Gamma_n(1,1) & m & m \\ m & m & \Gamma_n(1,0) & \Gamma_n(0,1) \\ \Gamma_n(1,1) & \Gamma_n(0,0) & m & m \\ m & m & \Gamma_n(0,1) & \Gamma_n(1,0) \end{bmatrix}$$

【0058】また更新が後方演算処理になる為、ガンマメトリックの演算はK=3で記すると、

$$\begin{aligned} & \{ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 3 \otimes \{ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 2 \otimes \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 1 \} \} \\ & = \begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

【0059】アルファメトリックと同様に、

と置くと、

$$\overline{\beta}[K \bullet (n+1)] = \begin{bmatrix} \beta00[K \bullet (n+1)] \\ \beta01[K \bullet (n+1)] \\ \beta10[K \bullet (n+1)] \\ \beta11[K \bullet (n+1)] \end{bmatrix}$$

$$\overline{\beta}[K \bullet n] = \begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \beta00[K \bullet (n+1)] \\ \beta01[K \bullet (n+1)] \\ \beta10[K \bullet (n+1)] \\ \beta11[K \bullet (n+1)] \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{a11 \otimes \beta00[K \bullet (n+1)]\} & \{a12 \otimes \beta01[K \bullet (n+1)]\} & \{a13 \otimes \beta10[K \bullet (n+1)]\} & \{a14 \otimes \beta11[K \bullet (n+1)]\} \\ \{a21 \otimes \beta00[K \bullet (n+1)]\} & \{a22 \otimes \beta01[K \bullet (n+1)]\} & \{a23 \otimes \beta10[K \bullet (n+1)]\} & \{a24 \otimes \beta11[K \bullet (n+1)]\} \\ \{a31 \otimes \beta00[K \bullet (n+1)]\} & \{a32 \otimes \beta01[K \bullet (n+1)]\} & \{a33 \otimes \beta10[K \bullet (n+1)]\} & \{a34 \otimes \beta11[K \bullet (n+1)]\} \\ \{a41 \otimes \beta00[K \bullet (n+1)]\} & \{a42 \otimes \beta01[K \bullet (n+1)]\} & \{a43 \otimes \beta10[K \bullet (n+1)]\} & \{a44 \otimes \beta11[K \bullet (n+1)]\} \end{bmatrix}$$

【0060】図5のベータメトリック更新回路501が上式の演算の相当する。尚、図中の

⊕

は通常の加算を表しており上述の半環における比較選択とは異なるものである。図5に示すように、ベータトリックは $K=3$ 段毎に更新されていくことになり、その演算結果は複数段の縦続接続構成からなるACS演算処理部502へと入力される。このACS演算は通常のベータメトリック更新で使用する処理を多段構成したもので、例えば、この様な方法については特願平11-1924667に記載がある。従って、

$$\beta[K=n] = \begin{bmatrix} \beta_{00}[K \bullet n] \\ \beta_{01}[K \bullet n] \\ \beta_{10}[K \bullet n] \\ \beta_{11}[K \bullet n] \end{bmatrix}$$

$$\beta[K=n] + \Gamma[K \bullet n - 1] = \begin{bmatrix} \beta_{00}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(0,0) \\ \beta_{00}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(1,1) \\ \beta_{01}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(1,1) \\ \beta_{01}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(0,0) \\ \beta_{10}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(1,0) \\ \beta_{10}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(0,1) \\ \beta_{11}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(0,1) \\ \beta_{11}[K \bullet n] + \Gamma_{K \bullet n - 1}(1,0) \end{bmatrix}$$

【0061】縦続接続構成からなるACS演算処理部502の各段からのベータメトリックとガンマメトリックの加算結果504はパイプライン化されて出力され各段が進むにしたがって1ステップずつ遅れるようになっている。従ってこの例の場合3個の値が平行して淀みなく出力され、この為、例えば特願平11-192467に開示されている通常の方法に比べ3倍の処理速度を有することになる。また $K$ の値を増やすように構成することにより任意の処理速度の向上を図れることはいうまでもない。

【0062】また図中のガンマメトリック演算結果50

を初期値として後方演算処理を縦続的に行うことになり、後方演算処理に必要なガンマメトリック供給503も各段毎にパイプライン化されており、段が進む毎に1ステップ遅らせて（後方演算なので時間的には逆になる）供給するようになっており、これによって処理が淀みなく進むことが出来る様になっている。この様に動作した結果、縦続接続構成からなるACS演算処理部502の各段からベータメトリックとガンマメトリックの加算結果504をえることが出来る。図中はベクトル表記になっているので対応関係の一例を以下に示す。

5はアルファメトリックの時に説明した内容と同様であるので説明を省略するが、更新方向がアルファメトリックが増加の方向であるのに対しベータメトリックは減少の方向である点がことなる。

【0063】このガンマメトリック演算結果505を得る手段は図6の様になっており、図中初段601はガンマメトリックの加算演算を示し、その詳細な構成を図7に示す。アルファメトリック同様に構成出来るが、ガンマメトリックのステップの方向と後方演算によるトレリスの違いが有り、以下の様になる。

$$\overline{\Gamma K \bullet (n+1) - 2} \otimes \overline{\Gamma K \bullet (n+1) - 1}$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) & \Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,1) & m & m \\ m & m & \Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,0) & \Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,1) \\ \Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,1) & \Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) & m & m \\ m & m & \Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,1) & \Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,0) \end{bmatrix}$$

$$\otimes \begin{bmatrix} \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0) & \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,1) & m & m \\ m & m & \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,0) & \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,1) \\ \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,1) & \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0) & m & m \\ m & m & \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,1) & \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,0) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0)\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,1) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,0)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,0)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,1)\} \\ \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,1)\} & \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(1,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(1,0)\} \end{bmatrix}$$

これを

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

と置く。図7の最上部を例として示すと、

$$a_{11} = \{\Gamma K \bullet (n+1) - 2(0,0) \otimes \Gamma K \bullet (n+1) - 1(0,0)\}$$

に相当することになる。図と式の対応関係は、図中の加算機

$$\oplus$$

を式の



となる。他も同様である。

【0064】この様にしてえられた結果は、図6に示す二段目以降の並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段602へと入力する。この実施例では並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を一段としているが、それはK=3の場合であるためでそれ以上の値のKを用いた場合この部分は複数段の構成となる。並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段の詳細な構成を図8に示す。

【0065】図8の動作は、ベータメトリックが後方演算処理のためトレリス線図に対応するマトリクスがアルファメトリックと変わり、以下のようになる。

$$\bar{\Gamma} \otimes \begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \Gamma(0,0) & \Gamma(1,1) & m & m \\ m & m & \Gamma(1,0) & \Gamma(0,1) \\ \Gamma(1,1) & \Gamma(0,0) & m & m \\ m & m & \Gamma(0,1) & \Gamma(1,0) \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \{\Gamma(0,0) \otimes a11\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a20\} & \{\Gamma(0,0) \otimes a12\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a22\} \\ \{\Gamma(1,0) \otimes a31\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a41\} & \{\Gamma(1,0) \otimes a32\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a42\} \\ \{\Gamma(1,1) \otimes a11\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a21\} & \{\Gamma(1,1) \otimes a12\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a22\} \\ \{\Gamma(0,1) \otimes a31\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a41\} & \{\Gamma(0,1) \otimes a32\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a42\} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \{\Gamma(0,0) \otimes a13\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a23\} & \{\Gamma(0,0) \otimes a14\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a24\} \\ \{\Gamma(1,0) \otimes a33\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a43\} & \{\Gamma(1,0) \otimes a34\} \oplus \{\Gamma(0,1) \otimes a44\} \\ \{\Gamma(1,1) \otimes a13\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a23\} & \{\Gamma(1,1) \otimes a14\} \oplus \{\Gamma(0,0) \otimes a24\} \\ \{\Gamma(0,1) \otimes a33\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a43\} & \{\Gamma(0,1) \otimes a34\} \oplus \{\Gamma(1,0) \otimes a44\} \end{bmatrix}$$

これを

$$\begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix}$$

を式の

となる。また二入力の比較選択回路を式の中の二項を演算する

と置くと、例えば図8の最上部の演算を例として示すと、

$$a11 = \{\Gamma(0,0) \otimes a11\} \oplus \{\Gamma(1,1) \otimes a21\}$$

に相当することになる。図と式の対応関係は、図中の加算機

となる。

【0066】他も同様である。この様にしてえられた結果が、図6の出力となる。即ち、図6の全体を通して、

$$\{\overline{\Gamma K \cdot (n+1) - 3} \otimes \overline{\Gamma K \cdot (n+1) - 2} \otimes \overline{\Gamma K \cdot (n+1) - 1}\}$$

$$\begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ a41 & a42 & a43 & a44 \end{bmatrix}$$

に相当する演算を行っているのである。

【0067】尚、この例ではK=3の場合を示したが、並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段602を縦続構成で増やすことにより容易に段数を増やせることはいうまでもない。

【0068】この様な構成へのガンマトリックの供給方法を図6の603に示す。同図に示す様にガンマトリックの供給は各段毎にパイプライン化されており、初

段については上述の説明の様に加算演算のみですむ為並列に供給され、後段については段が進む毎に1ステップ遅らせて供給するようになっており、これによって、処理が淀みなく進むことが出来るようになっている。

【0069】以上説明したように、図5によるK段毎のベータマトリックの更新とK倍の速度を持つベータマトリックとガンマトリックの加算結果504と、そのK段毎のベータマトリック更新動作を実現する為のACS縦



続構成からなるガンマトリック演算手段により動作速度をK倍する事が出来るのである。

【0070】ベータマトリックの更新過程をマトリクスで表すと以下の様になる。

$$\begin{aligned} \overline{\beta}[K \bullet n] &= \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 3 \otimes \left\{ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 2 \otimes \left[ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 1 \otimes \overline{\beta}[K \bullet (n+1)] \right] \right\} \\ &= \left\{ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 3 \otimes \left[ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 2 \otimes \left[ \overline{\Gamma K \bullet (n+1)} - 1 \otimes \overline{\beta}[K \bullet (n+1)] \right] \right] \right\} \otimes \overline{\beta}[K \bullet (n+1)] \\ &= \begin{bmatrix} A1(n+1) \\ A2(n+1) \\ A3(n+1) \\ A4(n+1) \end{bmatrix} \otimes \overline{\beta}[K \bullet (n+1)] \\ \text{where, } K &= 3 \end{aligned}$$

尚、以上はベータトリックについて記したがこれをアルファマトリックに置き換えても本発明が適用出来ることはいうまでもない。

【0071】この様にして得られた高速動作用アルファマトリックとベータマトリックを元に尤度演算を高速に行う方法について説明する。

【0072】先ず前述した様にK段毎に蓄積されたアルファマトリック用メモリ102から高速にアルファマトリックを復帰される手段について図9を参照しながら説明する。同図には説明の都合上既に説明したアルファマトリック用メモリ102とそのアドレスを制御するU/Dカウンタ103も再記している。このアドレスを制御

するU/Dカウンタ103は図1で示したK段毎に蓄積動作ではアップカウンタ動作を行ってアドレスをインクリメントしていくが、図9では読み出し処理で、ダウンカウンタ動作になり、デクリメントして行くことになる。この読み出されたアルファマトリックを例として $\alpha 00[K \bullet (n-1)]$ ,  $\alpha 01[K \bullet (n-1)]$ ,  $\alpha 10[K \bullet (n-1)]$ , 及び $\alpha 11[K \bullet (n-1)]$ , とする。この読み出されたアルファマトリックは複数段の縦続接続構成からなるACS演算処理部901へと入力される。このACS演算は通常のアルファマトリック更新で使用されている処理を多段構成したもので、例えばこの様な方法については特願平11-1924667に記載がある。従って、

$$\overline{\alpha}[K \bullet (n-1)] = \begin{bmatrix} \alpha 00[K \bullet (n-1)] \\ \alpha 01[K \bullet (n-1)] \\ \alpha 10[K \bullet (n-1)] \\ \alpha 11[K \bullet (n-1)] \end{bmatrix}$$

を初期値として前方演算処理を縦続的に行うことになり、前方演算処理に必要なガンマトリック供給902も各段毎にパイプライン化されており、段が進む毎に1ステップ進ませて供給するようになっており、これによって処理が淀みなく進むことが出来る様になっている。尚図中で記しているガンマトリック供給902はベクトル表記になっており例えば以下の様な関係にある。

$$[\Gamma K \bullet (n-1)] = \begin{bmatrix} \Gamma K \bullet (n-1)(0,0) \\ \Gamma K \bullet (n-1)(0,1) \\ \Gamma K \bullet (n-1)(1,0) \\ \Gamma K \bullet (n-1)(1,1) \end{bmatrix}$$

【0073】また、ガンマトリック供給は段毎に1ステップ進ませて供給するが、時刻に対してはKずつ遅らせる様になっておりこれは尤度演算時にベータマトリックの後方処理にタイミングを合わせる為である。

【0074】この様に動作した結果、縦続接続構成からなるACS演算処理部901の各段からアルファマトリック903を得ることが出来る。

【0075】この出力結果である903もパイプライン化されて出力され各段が進むにしたがって1ステップずつ進むようになっている。従ってこの例の場合3個の値が平行して淀みなく出力され、この為、例えば特願平11-1924667に開示されている通常の方法に比べ3倍の処理速度を有することになる。またKの値を増やすように構成することにより任意の処理速度の向上を図れることはいうまでもない。

【0076】図10はこの様にして得られたアルファマトリックとベータマトリックを元に行う尤度演算処理を示した図である。図中1001は図5のベータマトリックとガンマトリックの加算結果を生み出す処理を示し、1002は上記で説明した図9のアルファマトリックを再生する手段を示す。図中1003は尤度演算を行う処理を示し、1001と1002から遅延手段1004と1005を介してベータマトリックとガンマトリックの加算結果及びアルファマトリックがそれぞれKの平行構成で供給されている。この遅延手段によって尤度演算に必要な処理の同期合わせが行われ、K個同時に各情報ビットに対する対数尤度比1006を得ること

が出来る様になっている。図11は尤度演算処理を示したもので、例えば特願平11-192467に開示されている通常の方法である。本実施例の場合、この尤度演算処理をK個用いて1003を構成している。従ってK倍の処理速度を実現出来るのである。

【0077】次に、本発明を並列接続型と直列接続型のターボ符号化に適用した場合について説明する。図12は、並列接続型のターボ符号化を、図13は直列接続型のターボ符号化を示す。両図から分かる様にコンポーネント符号化は並列接続型も直列接続型も同じ構造を取る。従って、本発明のBCJRアルゴリズムについてみれば同様な方法で本発明が適用出来ることが分かる。詳細な方法が特願平11-192467に開示されている。

$$\ln(e^{s_1} + e^{s_2}) = \max(\delta_1, \delta_2) + \ln(1 + e^{-|s_2 - s_1|}) = \max(\delta_1, \delta_2) + f_c(|\delta_2 - \delta_1|)$$

なる演算を基本としている。これを上述の半環 (semiring) に当てはめると、以下の様になる。例え

$$\begin{aligned} a \oplus (b \oplus c) &= a + \{\max(a, b) + f_c(|b - c|)\} \\ &= \max\{(a + b), (a + c)\} + f_c\{|(a + b) - (a + c)|\} \\ &= (a \otimes b) \oplus (a \otimes c) \end{aligned}$$

また同様に、

$$\begin{aligned} (b \oplus c) \oplus a &= \{\max(b, c) + f_c(|c - b|)\} + a \\ &= \max\{(b + a), (c + a)\} + f_c\{|(c + a) - (b + a)|\} \\ &= (b \otimes a) \oplus (c \otimes a) \end{aligned}$$

従って、ヤコビアンロガリズムが半環 (semiring) における分配則を満足することがわかる。また、演算

$$\oplus$$

における結合則は、

$$(a \oplus b) \oplus c = \ln(e^a + e^b + e^c) = a \oplus (b \oplus c)$$

となる。

【0080】即ち、

$$(a \oplus b) = A = \ln(e^a + e^b) = \ln(e^A)$$

$$(a \oplus m) = \ln(e^a + e^m) = \ln(e^a + 0) = a$$

となつて、上述の論理をそのまま用いることが出来る。

【0082】その他は自明なので説明を省略する。

【0083】この様に半環 (semiring) の性質

【0078】また、ヤコビアンロガリズムにより補正項を加算したACS演算を図13に示す。本発明のACS演算を図14に示す手段に置き換えることによりヤコビアンロガリズムを適用したターボデコーダが実現可能である。

【0079】以下ヤコビアンロガリズムにより補正項を加算したACS演算が半環 (semiring) になることを説明する。ヤコビアンロガリズムは補正項

$$f_c(|\delta_1 - \delta_2|)$$

を

$$|\delta_1 - \delta_2|$$

の関数としてテーブルで参照することでBCJRアルゴリズムと等価な演算を対数領域で行うものであり、

と置くと、上式左辺は、

$$(a \oplus b) \oplus c = \ln(e^A + e^c) = A \oplus c$$

なる演算をすることに相当し、

$$(b \oplus c) = C = \ln(e^b + e^c) = \ln(e^C)$$

と置くと、上式右辺は、

$$(a \oplus b) \oplus c = \ln(e^a + e^c) = a \oplus C$$

なる演算をすることになる。従って、ともに

$$\ln(e^a + e^b + e^c)$$

となるのである。

【0081】また、演算

$$\oplus$$

における単位元  $m (= -\infty)$  は、

を持つヤコビアンロガリズムの演算を実際に用いてみると、

$$\begin{aligned}
\bar{A} \otimes (\bar{B} \otimes \bar{S}) &= \bar{A} \otimes \left\{ \begin{bmatrix} b_{11} & - & - & b_{1n} \\ | & - & - & | \\ | & - & - & | \\ b_{n1} & - & - & b_{nn} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} s_1 \\ | \\ | \\ s_n \end{bmatrix} \right\} \\
&= \bar{A} \otimes \begin{bmatrix} \sum_i b_{1i} \otimes s_i \\ | \\ | \\ \sum_i b_{ni} \otimes s_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & - & - & a_{1n} \\ | & - & - & | \\ | & - & - & | \\ a_{n1} & - & - & a_{nn} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} \sum_i b_{1i} \otimes s_i \\ | \\ | \\ \sum_i b_{ni} \otimes s_i \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \sum_j a_{1j} \otimes \left( \sum_i b_{ji} \otimes s_i \right) \\ | \\ | \\ \sum_j a_{nj} \otimes \left( \sum_i b_{ji} \otimes s_i \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_j \sum_i a_{1j} \otimes b_{ji} \otimes s_i \\ | \\ | \\ \sum_j \sum_i a_{nj} \otimes b_{ji} \otimes s_i \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

[ $\because$  分配則  $a \otimes (b \oplus c) = a \otimes b \oplus a \otimes c$ ]

where,  $\sum$  は  $\oplus$  の演算による。

【0084】例えば、 $n=4$  を例にとってみると、

$$\begin{aligned}
& \bar{A} \otimes (\bar{B} \otimes \bar{S}) \\
&= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} (b_{11} \otimes s_1) \oplus (b_{12} \otimes s_2) \oplus (b_{13} \otimes s_3) \oplus (b_{14} \otimes s_4) \\ (b_{21} \otimes s_1) \oplus (b_{22} \otimes s_2) \oplus (b_{23} \otimes s_3) \oplus (b_{24} \otimes s_4) \\ (b_{31} \otimes s_1) \oplus (b_{32} \otimes s_2) \oplus (b_{33} \otimes s_3) \oplus (b_{34} \otimes s_4) \\ (b_{41} \otimes s_1) \oplus (b_{42} \otimes s_2) \oplus (b_{43} \otimes s_3) \oplus (b_{44} \otimes s_4) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \sum_j a_{1j} \otimes ((b_{j1} \otimes s_1) \oplus (b_{j2} \otimes s_2) \oplus (b_{j3} \otimes s_3) \oplus (b_{j4} \otimes s_4)) \\ \sum_j a_{2j} \otimes ((b_{j1} \otimes s_1) \oplus (b_{j2} \otimes s_2) \oplus (b_{j3} \otimes s_3) \oplus (b_{j4} \otimes s_4)) \\ \sum_j a_{3j} \otimes ((b_{j1} \otimes s_1) \oplus (b_{j2} \otimes s_2) \oplus (b_{j3} \otimes s_3) \oplus (b_{j4} \otimes s_4)) \\ \sum_j a_{4j} \otimes ((b_{j1} \otimes s_1) \oplus (b_{j2} \otimes s_2) \oplus (b_{j3} \otimes s_3) \oplus (b_{j4} \otimes s_4)) \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

where,  $\sum$  は  $\oplus$  の演算による。

【0085】ここで、上式における

$$(b_{11} \otimes s_1) \oplus (b_{12} \otimes s_2) \oplus (b_{13} \otimes s_3) \oplus (b_{14} \otimes s_4)$$

は以下の方法で逐次的に演算出来、上述のハードウェア構成に図14を用いて実現出来る。

$$a \oplus b \oplus c \oplus d$$

を演算するに当たって、先ず、

【0086】今、

$$a \oplus b = \ln(e^a + e^b) = \ln(e^\alpha) = \alpha$$

を計算し、次に、

$$\alpha \oplus \beta = \ln(e^\alpha + e^\beta) = \ln(e^\lambda) = \lambda$$

$$c \oplus d = \ln(e^c + e^d) = \ln(e^\beta) = \beta$$

を計算すれば、

を計算する。最後に、

$$a \oplus b \oplus c \oplus d = \{\ln(e^a + e^b)\} \oplus \{\ln(e^c + e^d)\} = \alpha \oplus \beta = \ln(e^\alpha + e^\beta) = \ln(e^\lambda) = \lambda$$

となる。従って、逐次的に計算しても同じ結果が得られ

ることになる。一方、

$$\begin{aligned}
(\bar{A} \otimes \bar{B}) \otimes \bar{S} &= \left\{ \begin{bmatrix} a_{11} & - & - & a_{1n} \\ | & - & - & | \\ | & - & - & | \\ a_{n1} & - & - & a_{nn} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} b_{11} & - & - & b_{1n} \\ | & - & - & | \\ | & - & - & | \\ b_{n1} & - & - & b_{nn} \end{bmatrix} \right\} \otimes \begin{bmatrix} s_1 \\ | \\ | \\ s_n \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \sum_i a_{1i} \otimes b_{i1} & - & - & \sum_i a_{1i} \otimes b_{in} \\ | & - & - & | \\ | & - & - & | \\ \sum_i a_{ni} \otimes b_{i1} & - & - & \sum_i a_{ni} \otimes b_{in} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} s_1 \\ | \\ | \\ s_n \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} \sum_j \left( \sum_i a_{1i} \otimes b_i \right) \otimes s_j \\ | \\ | \\ \sum_j \left( \sum_i a_{ni} \otimes b_i \right) \otimes s_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_j \sum_i a_{1i} \otimes b_i \otimes s_j \\ | \\ | \\ \sum_j \sum_i a_{ni} \otimes b_i \otimes s_j \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

〔∴ 分配則  $(b \oplus c) \otimes a = b \otimes a \oplus c \otimes a$ 〕

where,  $\sum$  は  $\oplus$  の演算による。

【0087】従って、i、j を入れ替えれば上式を同じになり、結局、ヤコビアンロガリズムにおいても、

が成り立ち、この関係を逐次的に用いれば、上述のACS演算の順序変更による高速手法である、

$$\bar{A} \otimes (\bar{B} \otimes \bar{S}) = (\bar{A} \otimes \bar{B}) \otimes \bar{S}$$

$$\bar{A} \otimes \{ \bar{B} \otimes (\bar{C} \otimes \bar{S}) \} = \bar{A} \otimes \{ (\bar{B} \otimes \bar{C}) \otimes \bar{S} \} = \{ \bar{A} \otimes (\bar{B} \otimes \bar{C}) \} \otimes \bar{S}$$

をそのままヤコビアンロガリズムに適用することが出来、同じ論理で項の数を幾らでも拡大することが可能である。

【0088】即ち、図14のヤコビアンロガリズムにおけるACSを用いたとしても本発明の適用が可能である。

【0089】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明の高速ターボデコーダを用いれば、高速性とインタラクティブ性が要求される通信において、強力な誤り訂正手段を提供することが出来、その為のメモリ容量の増大といった回路規模の増加を生じることなく、タイムラグの少ない誤り訂正手段を提供することが出来る。

【0090】更に本発明は、並列接続型のターボ符号化にも直列接続型のターボ符号化にも適用が可能であり、要求されるQoSによって柔軟に構成することが出来る。

【0091】更に本発明は、ヤコビアンロガリズムの適用が可能であり、更に誤り訂正能力の向上を図ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の高速ターボデコーダを適用した実施例で、アルファメトリック演算を示した図である。

【図2】アルファメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算を示した図である。

【図3】アルファメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の初段構成例を示した図である。

【図4】アルファメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の次段以降で並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を示した図である。

【図5】本発明の高速ターボデコーダを適用した実施例

で、ベータメトリック演算を示した図である。

【図6】ベータメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算を示した図である。

【図7】ベータメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の初段構成例を示した図である。

【図8】ベータメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の次段以降で並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段を示した図である。

【図9】アルファメトリック再生回路を示した図である。

【図10】尤度演算処理部を示した図である。

【図11】尤度演算処理回路を示した図である。

【図12】並列接続型のターボ符号化処理を示した図である。

【図13】直列接続型のターボ符号化処理を示した図である。

【図14】並列接続型のターボ符号化処理のヤコビアンログリズム構成例を示した図である。

【図15】スイッチ切り替え型の並列動作例を示した図である。

【図16】パイプライン型の縦続構成例を示した図である。

【符号の説明】

101 アルファメトリック更新回路  
102 アルファメトリック用メモリ  
103 アドレス制御用のアップダウンカウンタ  
104 ガンマメトリック演算結果  
201 アルファメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演

算の内の初段

202 アルファメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の次段以降で並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段

203 ガンマメトリック供給手段

501 ベータメトリック更新回路

502 複数段の縦続接続構成からなるACS演算処理部

503 ガンマメトリック供給手段

504 ベータメトリックとガンマメトリックの加算結果

505 ガンマメトリック演算結果

601 ベータメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の初段

602 ベータメトリック演算用のガンマメトリックを入力として複数段の縦続接続構成からなるACS演算の内の次段以降で並列成分からなるトレリス構造で構成されたACS演算手段

603 ガンマメトリック供給手段

901 複数段の縦続接続構成からなるACS演算処理部

902 ガンマメトリック供給手段

903 アルファメトリック再生結果

1001 ベータメトリックとガンマメトリックを加算結果生成処理

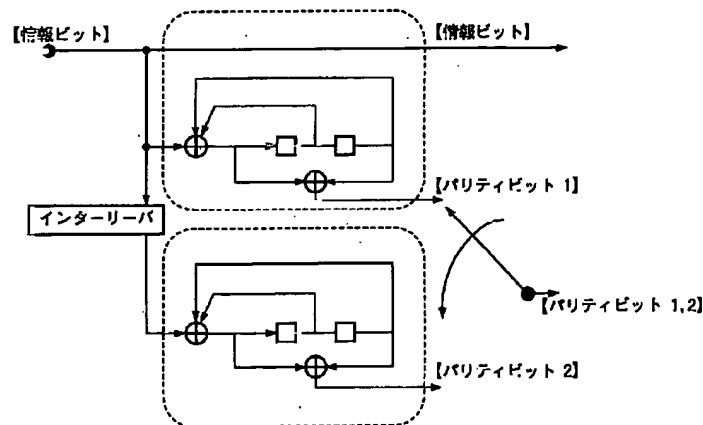
1002 アルファメトリック再生部

1003 尤度演算処理部

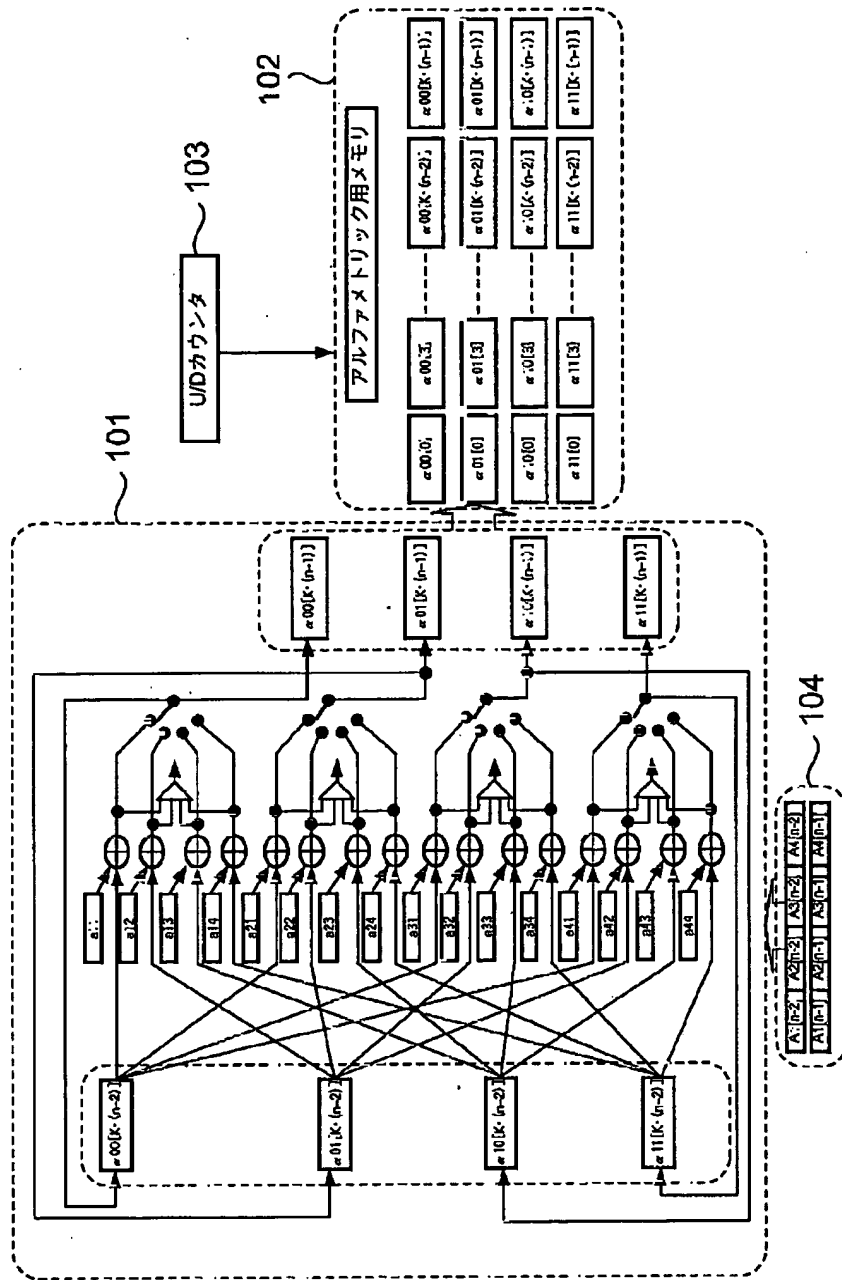
1004、1005 遅延手段

1006 情報ビット対数尤度比出力

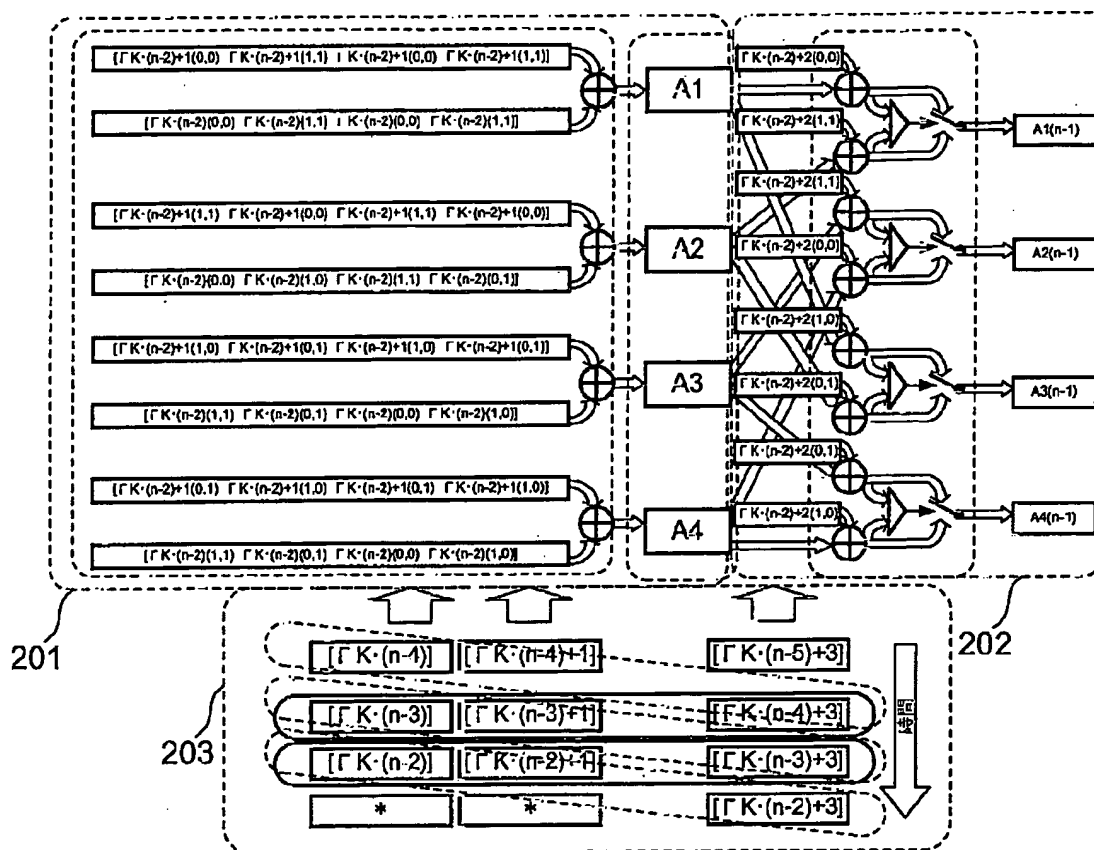
【図12】



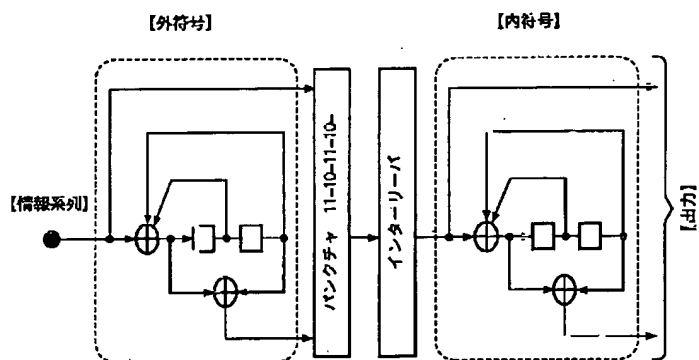
【図1】



【図2】

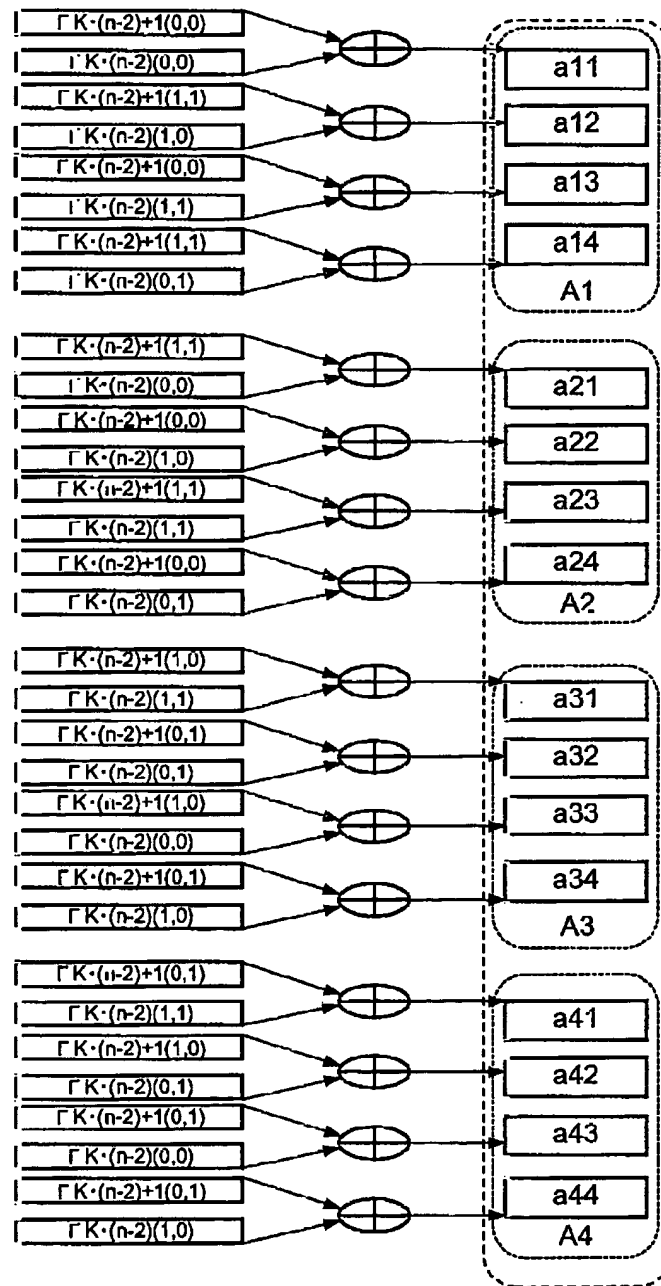


【图 13】

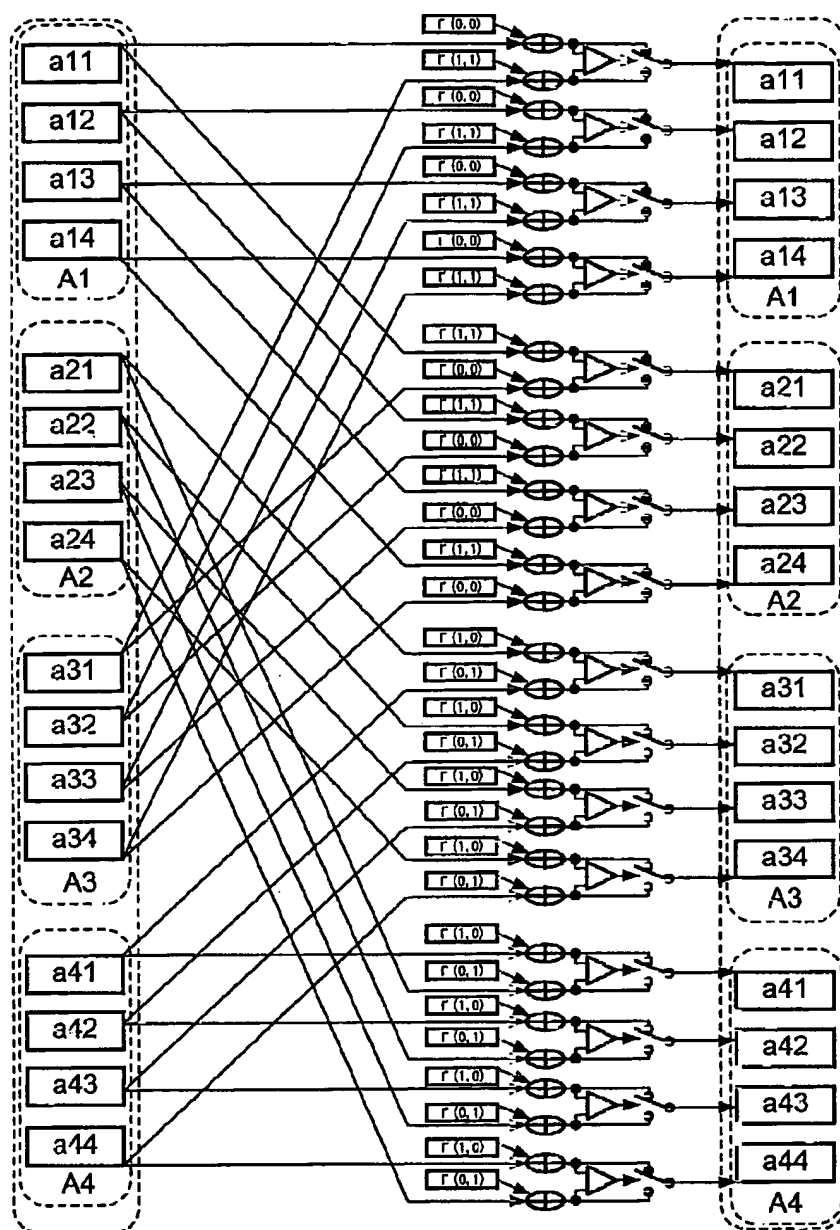




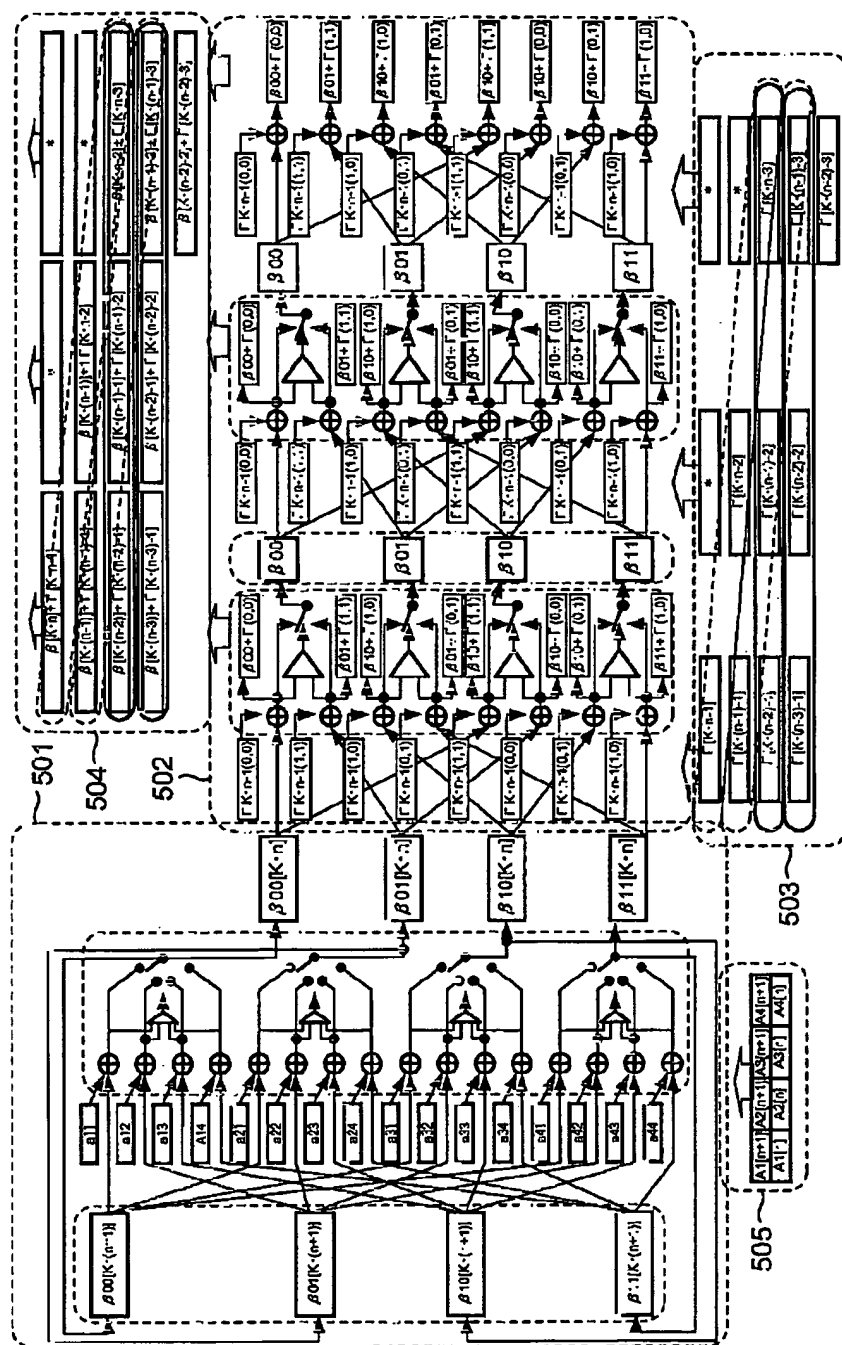
【圖3】



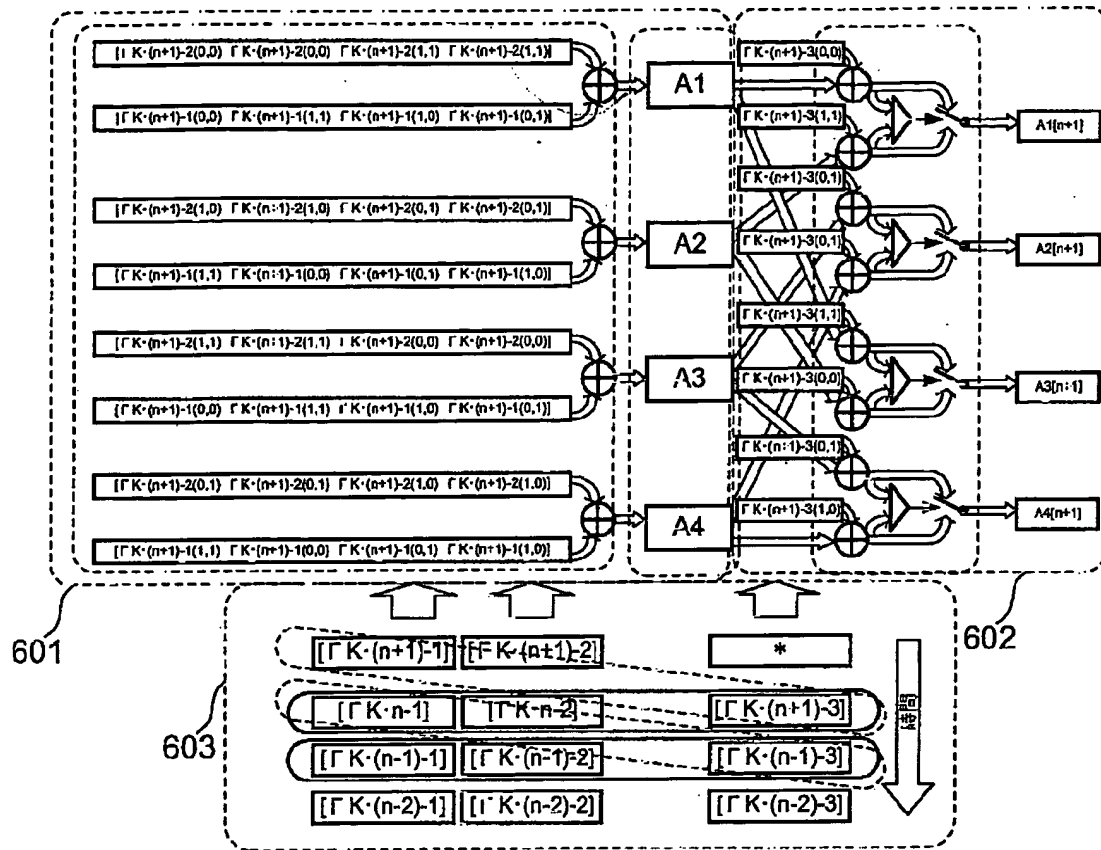
【図4】



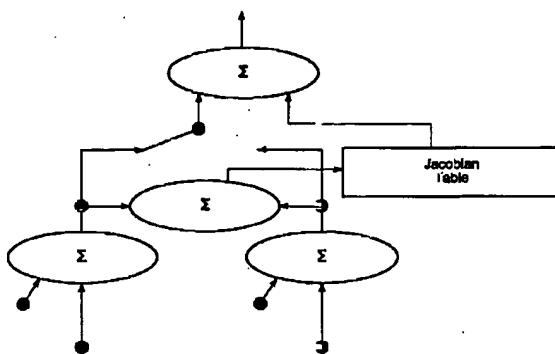
【図5】



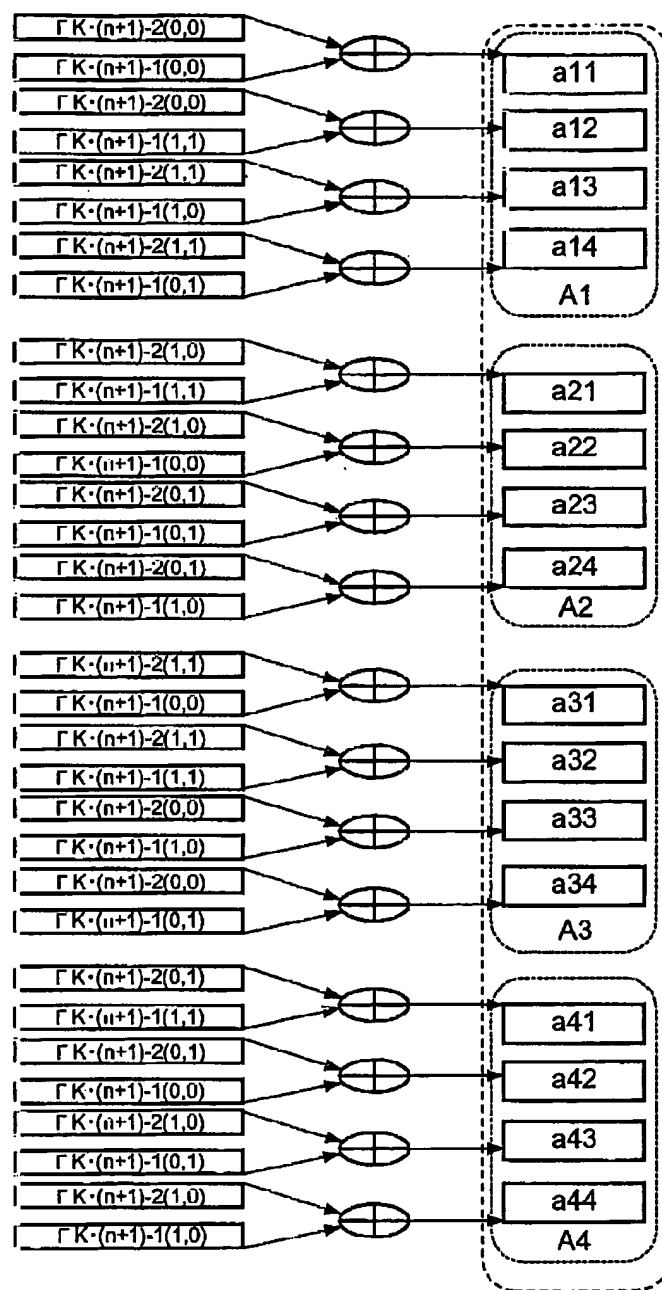
【図6】



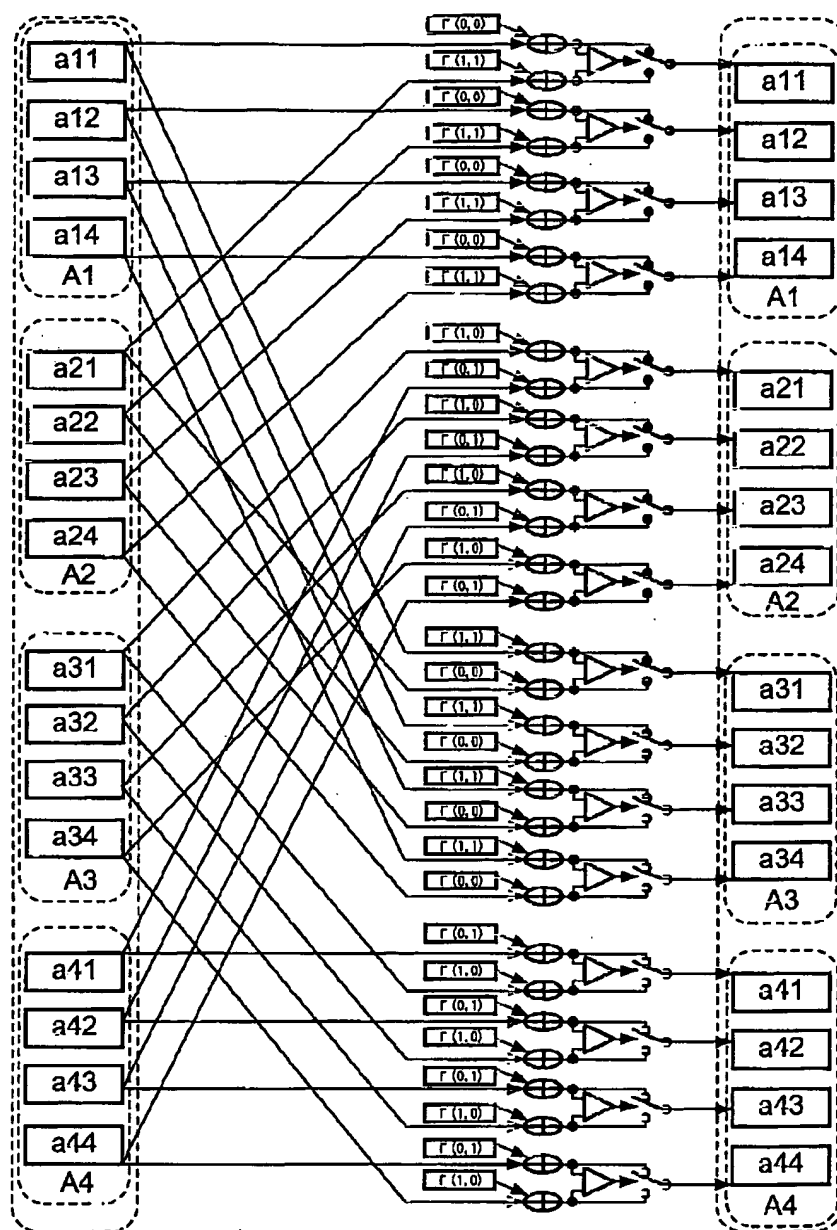
【図14】



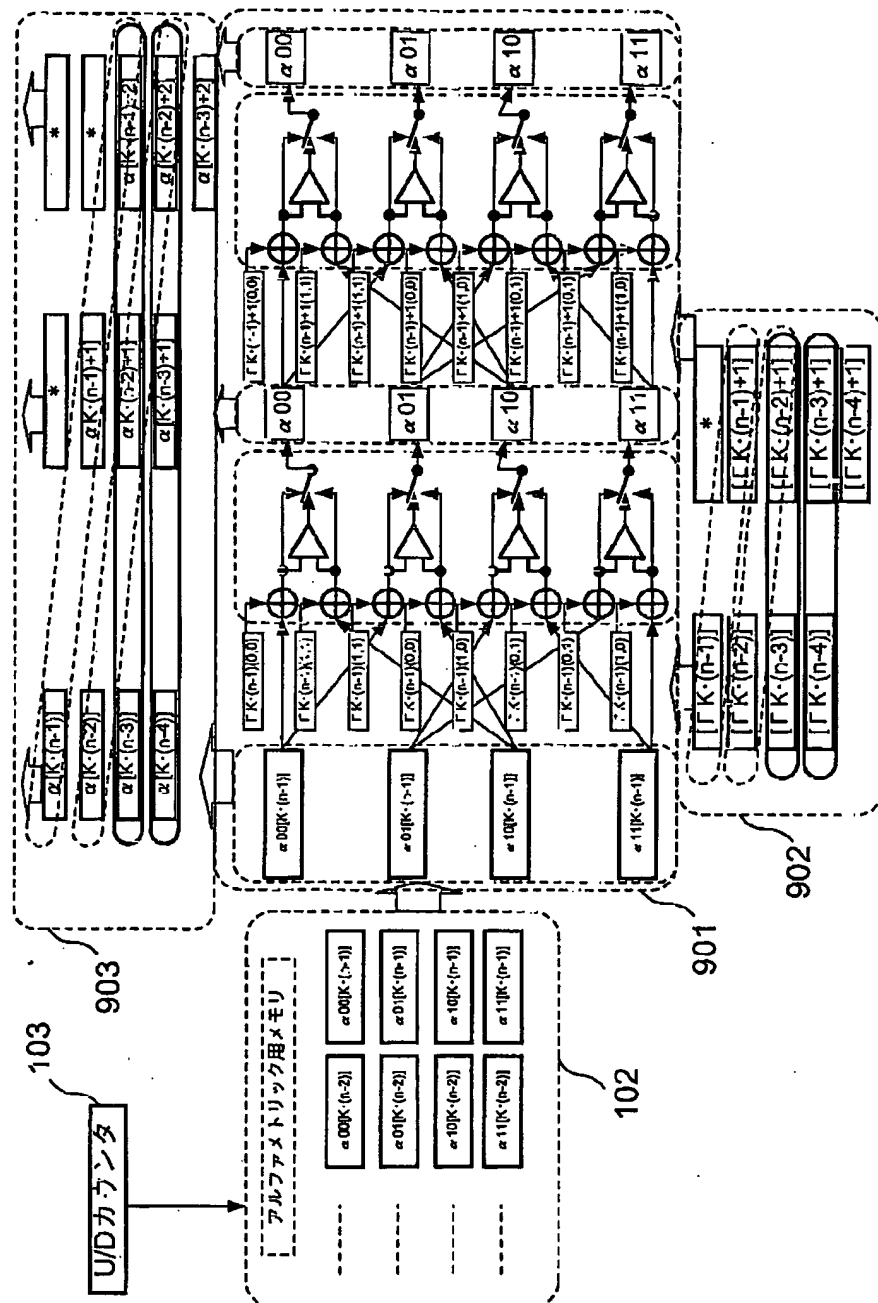
【図7】



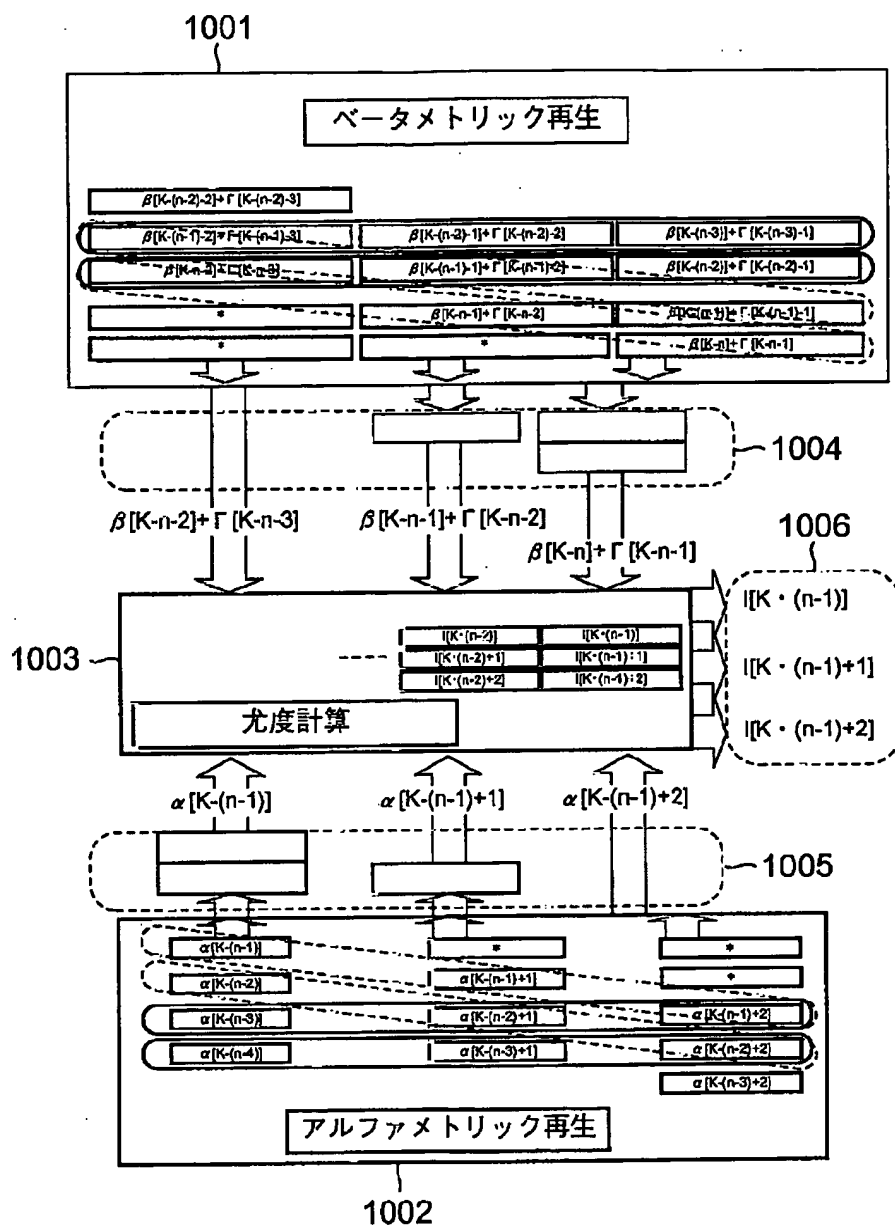
【図8】



【図9】

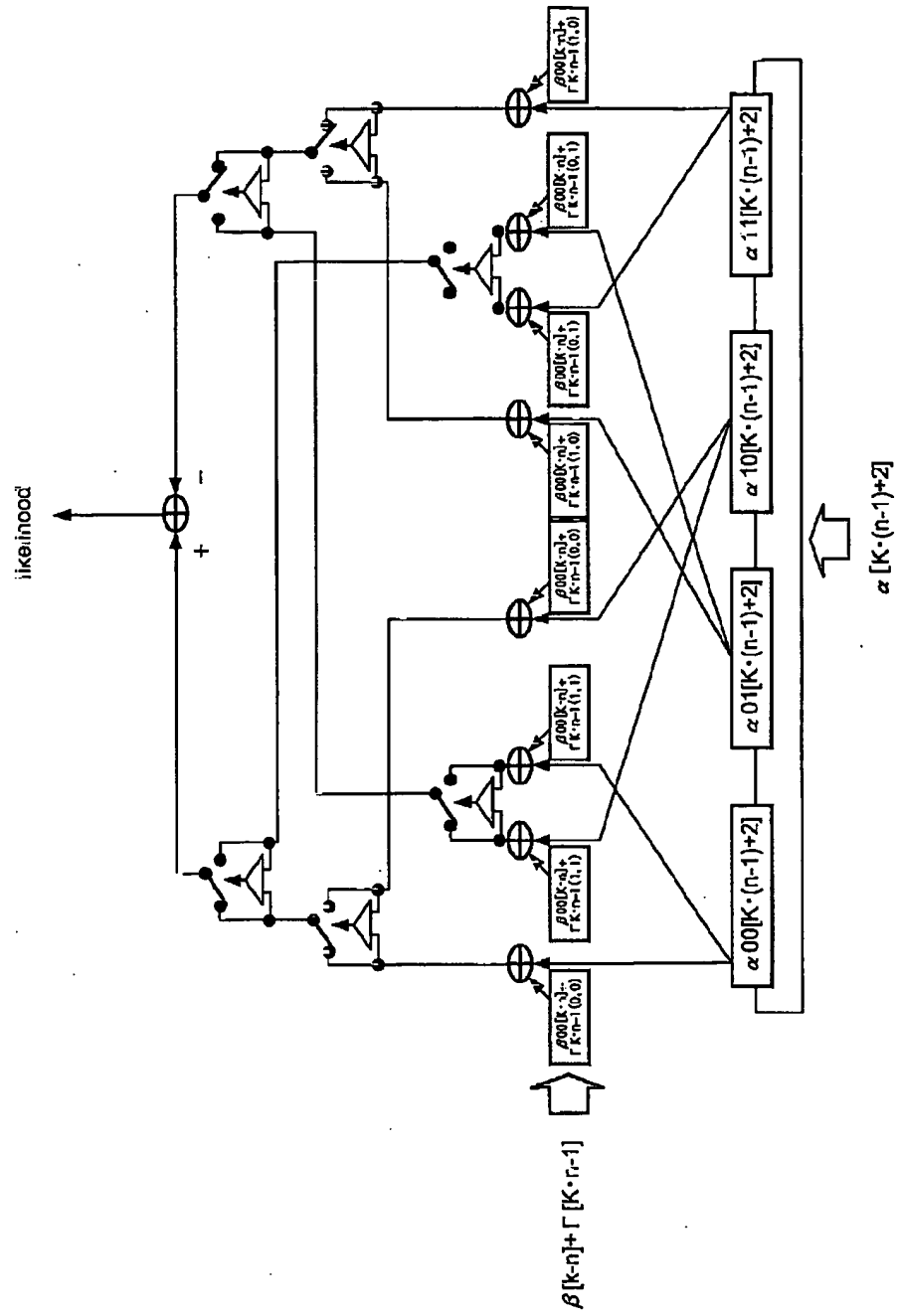


【図10】

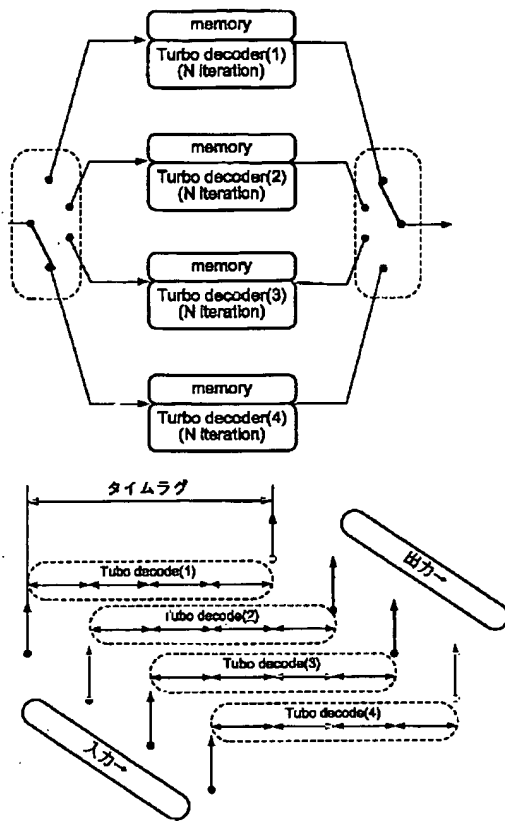




【図11】



【図15】



【図16】

